



Plenerowy impulsowy wykrywacz metali

część 1

Wykrywacz metali o dużym zasięgu, szybkiej reakcji, z obsługą dwucewkowych sond i z reflektorem na wyposażeniu. Źródło dobrej zabawy w każdych warunkach!

Proponuję budowę wykrywacza metali, który urozmaici spacer, a także będzie źródłem dobrej zabawy dla całej rodziny. Urządzenie cechuje się bardzo dobrym zasięgiem – 50cm dla puszki sprężonego powietrza i 27cm dla dużej monety. Wykrywacz wyposażony został w możliwość podłączenia dwóch cewek jednocześnie, co znacząco ułatwia rozpoznanie położenia, głębokości i rozmiaru przedmiotu w ziemi. Pomysł na zamknięcie dwóch cewek w jednej końcówce eliminuje konieczność noszenia dodatkowego sprzętu i wymieniaania go w terenie. Do zasilania służy osiem baterii AA. Całość została zbudowana z niedrogich i łatwo dostępnych części i materiałów. W praktyce wykrywacz okazał się wygodny, lekki i wytrzymały. Konstrukcja pozwala na łatwe rozłożenie jej przed transportem, możemy również regulować długość wysięgnika. Wiosna już niedługo, a więc teraz jest idealny moment na zabranie się do budowy takiego wykrywacza – zapewniam, że eksploracja to bardzo fajny i zdrowy sposób na popołudnie!

O wykrywaczach to i owo...

Prace nad wykrywaczami zaczęły się na przełomie XIX i XX wieku. Urządzenia te wykorzystują duże cewki, których parametry (m.in. indukcyjność) zmieniają się zależnie od obecności metalowych przedmiotów w pobliżu – pełnią funkcję rdzenia, choć często wykorzystuje się kilka innych efektów. Pierwsze wykrywacze, typu BFO (Beat Frequency Oscillator), działały w oparciu o dwa obwody rezonansowe LC. Jeden z nich zawierał cewkę roboczą, drugi był wbudowany wewnątrz układu i musiał być perfekcyjnie zestrojony. W pobliżu jakiegoś metalu pierwszy generator się rozstrajał, powstała różnica częstotliwości, która wzmocniona trafiała do słuchawek/głośnika. Były to bardzo niestabilne urządzenia o małej czułości, obecnie już nieprodukowane. Kolejny typ to wykrywacze impulsowe PI (Pulse Induction) – m.in. przedstawiony w artykule. Ich działanie polega na „rozpę-



dzieniu” dużego prądu w cewce w krótkim impulsie, a po odłączeniu od niej zasilania obserwuje się szybkość zmian na niej napięcia/prądu, co oczywiście zależy od jej indukcyjności. Tego typu wykrywacze mają duży zasięg, są proste w budowie, praktycznie niewrażliwe na mineralizację i właściwości gleby, są też najlepszą opcją, kiedy chcemy zbudować wielki wykrywacz o zasięgu kilku metrów do poszukiwania czołgów zatopionych w bagnach. Najnowszym typem wykrywaczy są VLF/IB (Very Low Frequency/Induction Balance). Mają dwie cewki (nadawczą i odbiorczą) o takich kształtach, że jedna na drugą nie wpływa (w cewce odbiorczej normalnie nic się nie indukuje ze strumienia z cewki nadawczej). Pojawienie się w pobliżu jakiegoś metalu natychmiast zaburza tę symetrię (równomierność rozkładu pola), co powoduje, że w cewce odbiorczej zaindukuje się napięcie zmienne o określonej fazie. Jest to wykorzystywane do rozróżniania metali i dyskryminacji żelaza, czyli ignorowania wszelkich kapsli czy gwoździ w silnie zaśmieconym terenie. Temat VLF jest bardzo skomplikowany i zajmują się nim sztaby inżynierów w wielkich firmach.

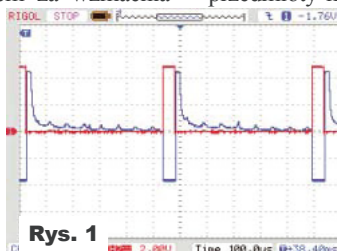
W niniejszym artykule skupimy się na wykrywaczu impulsowym. Cewka indukcyjna jest pobudzana krótkimi impulsami prądu z pewną częstotliwością. Na **rysunku 1** przedstawiłem oscylogramy zarejestrowane w moim wykrywaczu. Oryginalne przebiegi są bardzo małe, dlatego sondę oscyloskopową umieściłem za wzmacniaczem 1000 V/V, odwracającym fazę sygnału. Musiałem także zabezpieczyć wejścia tego wzmacniacza przed zbyt dużymi impulsami napięcia (sięgającymi ponad 200V!), a obciąż-

cia sygnału wynikają z ograniczeń dynamiki wzmacniacza. W obwodzie RL po pobudzeniu cewki (czerwony przebieg) i gwałtownym odcięciu prądu napięcie opada wykładniczo.

Informacje o obecności metali ukryte są w szybkości tego opadania – odpowiedni fragment musi zostać spróbkowany. Nie należy go mylić z próbkowaniem cyfrowym, częstotliwością Nyquista i tego typu zagadnieniami – tutaj ma miejsce „próbkowanie analogowe”, czyli przepuszczenie do dalszej obróbki tylko małego fragmentu, ciągniętego w dziedzinie czasu i wartości. Ten mały wycinek jest całkowany w integratorze na wzmacniaczu operacyjnym i poddany dużemu wzmocnieniu. Kiedy w pobliżu cewki znajdzie się metalowy przedmiot, sygnał opada wolniej – różnicę widać na **rysunku 2**, pokazujący dodatkowo moment, w którym następuje próbkowanie. Góry oscylogram dotyczą cewki bez metali w pobliżu, a dolny – po zbliżeniu śrubokręta. Wówczas ta „wycięta próbka” staje się większa. Na wyjściu integratora o dużym wzmocnieniu natychmiast podskoczy napięcie, co świadczy o znalezieniu czegoś metalowego.

W elektronice, jak to w życiu, zawsze trzeba iść na jakieś kompromisy. Naszym celem jest wysyłanie w ziemię impulsów pól elektromagnetycznych: czym silniejsze będzie to pole, tym lepiej. Impulsy te powinny być wysyłane z możliwie dużą częstotliwością – wtedy wykrywacz ma lepszą szybkość reakcji, tj. może zareagować na przedmioty metalowe przy szybkim wyma-

chiwaniu sondą, a to wpływa na komfort pracy. Musimy zatem podjąć decyzję o czasie trwania impulsu i częstotliwości ich powtarzania. Cewkę traktujemy tutaj jako obwód RL, zasilany źródłem napięciowym.



Po włączeniu napięcia prąd w niej narasta w sposób wykładniczy. Impuls musi trwać na tyle długo, aby prąd w cewce osiągnął możliwie dużą wartość. Nie można też przesadzić, bo musimy liczyć się z poborem prądu – trzeba znaleźć optymalny czas pobudzenia (np. do osiągnięcia 80–90% wartości maksymalnej prądu). Przyjęcie zbyt dużej częstotliwości odbija się na prądożerności całego układu – i źle dobierając te wartości, można niechcący spowodować olbrzymi pobór prądu! Dlatego bardzo ważne jest wykonanie odpowiedniej cewki. Znaczenie ma jej indukcyjność i rezystancja drutu. Nie można mieć węża w kieszeni, bo przy zmianie średniej wartości poboru prądu o 15mA możemy radykalnie zmienić komfort korzystania ze sprzętu.

Średnica cewki również ma duże znaczenie. Duża zapewnia duży obszar przeszukiwań i zasięg, natomiast mała pozwala precyzyjnie określić lokalizację przedmiotu, jest czulsza na małe obiekty, ale jej zasięg jest mniejszy. Mając do dyspozycji obie, możemy szybko nauczyć się szacować, na jakiej głębokości leży obiekt i jaki może mieć rozmiar. Indukcyjność cewki: generalnie im większa, tym możemy zyskać lepszą czułość na małe przedmioty. Z drugiej strony, przy dużej indukcyjności prąd „rozpędza się” wolniej, co zmusza do zmniejszenia częstotliwości, a zwiększenia czasu impulsu zasilania cewki. Tracimy zatem na szybkości reakcji na metal, jak również musimy pogodzić się z większym poborem prądu. Z kolei zbyt mała indukcyjność na odwrót – możemy wprawdzie uzyskać większą szybkość reakcji i oszczędność energii, ale wykrywacz traci na zasięgu i wykrywalności małych przedmiotów. Indukcyjności (z dała od metali) cewek do wykrywaczy domowej roboty przeważnie mają wartości 250...450μH. Takie parametry uzyskuje się, nawijając 20...25 zwojów na średnicy ok. 30cm.

Opis układu

Jest to wykrywacz z podwójnym próbkowaniem, czyli oprócz pierwszej próbki opadającego sygnału, pobierana jest także jego druga próbka. Pokazałem ten moment na **rysunku 3**, czyli daleko za głównym spadkiem. Ten niewielki uskok jest również całkowany, w tym przypadku w integratorze różnicowym. Eksperymentowałem z pojedynczym całkowaniem, ale okazało się, że efekty są znacznie gorsze właśnie przez to niewielkie napięcie obniżające czułość, co ma ogromne zna-

czenie. Całość zrealizowałem na trzech jednostronnych płytkach drukowanych. Schemat pierwszej pokazany jest na **rysunku 4**. Zadaniem tej części jest dostarczenie zasilania, generowania wszystkich przebiegów czasowych (taktów zegara) dla wykrywacza oraz obsługa wyboru cewek. Do tej płytki podłączamy zasilanie 12V bezpośrednio z baterii (do JP1), gdzie jest obniżane i stabilizowane do 5V (78L05) i odprowadzane do JP1. Do symetrycznego zasilania wzmacniaczy operacyjnych wykonałem negator napięcia na bramkach IC2. Kondensator C19 i diody D1 i D2 zapewniają napięcie ok. -11,4V.

Kluczową rolę w tym projekcie odgrywa generator kwarcowy o częstotliwości 1,842MHz, który taktuje układ 4060, który wytwarza sygnał prostokątny 1,8kHz (o wypełnieniu 50%). Konstruktorzy często stosują przetwornicę na ICL7660. Niestety, wytwarzane przez nią napięcie jest mocno zaśmiecone, co przy tak dużych wzmocnieniach zaczyna przeszkadzać. ICL7660 pracuje w oparciu o własny zegar taktujący. Ja postanowiłem zsynchronizować przetwornicę i taktowanie cewki/próbkowań tak, że zakłócenia w sygnale przestają mieć uciążliwy charakter losowy.

Obwód z C18, R8, R9, R11, Q3 generuje bardzo krótkie impulsy (kilka mikrosekund) przy występowaniu narastającego zbocza sygnału na wyjściu generatora. Impulsy te wyzwalają pięć generatorów monostabilnych. W stanie ustalonym kondensator C20 jest naładowany przez rezystor R21, na wyjściu bramki z przerzutnikiem Schmitta panuje jedynka. Gdy nadejdzie impuls na linii *TAKT*, otwiera się tranzystor PNP i natychmiast rozładowuje kondensator (impuls jest wystarczająco długi), na wyjściu bramki pojawia się zero. Po przejściu impulsu kondensator zaczyna się ładować i po pewnym czasie (zależnym od stałej RC), napięcie będzie na tyle wysokie, że bramka znów przejdzie na stan wysoki. W ten sposób działa każdy z tych generatorów, jednak znacznie się różnią pod względem czasu trwania impulsu na wyjściu. Na schemacie czas trwania impulsu na wyjściu każdego z nich różnie od lewej

do prawej.

Wyboru cewki użytkownik dokonuje dwoma przyciskami monostabilnymi lub jednym bistabilnym. Styki tych elementów podłączamy do S1

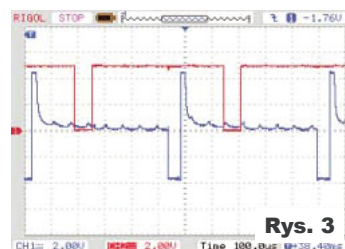
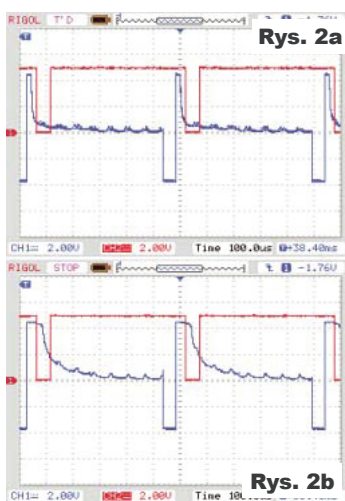
(Select). R1 i C1 generują krótki impuls przy włączeniu zasilania, aby zawsze „startować” z tej samej cewki. Obwód ten wytwarza sygnał *CEWKA* oraz jego zanegowaną wersję. Nie wykorzystałem drugiego, zanegowanego wyjścia z przerzutnika, bo gdyby naciśnięte zostały oba przyciski, to obie cewki pracowałyby z niewiadomym skutkiem. Obwody z tranzystorami Q4, Q5 i diodami LED sygnalizują, która cewka pracuje. Wykorzystałem diodę RGB ze wspólną anodą (segment czerwony i niebieski).

Logika kombinacyjna na trzech kostkach wysyła sterujące sygnały logiczne do drugiej płytki, przez złącze JP2. Ma ono 7 pinów, kolejno od góry są to: [1] sygnał 0/1, która cewka została wybrana (do selekcji obwodu strojenia), [2, 3] drugie próbkowanie dla każdej z cewek (aktywny stan niski), [4, 5] pierwsze próbkowanie dla każdej z cewek (aktywny stan niski), [6, 7] włączanie zasilania każdej z cewek (aktywny stan wysoki). Pierwszy z lewej generator na IC6A służy do sterowania zasilaniem obu cewek, uruchamia się na określony czas od razu po impulsie na *TAKT*. W reakcji na impuls zerowy z wyjścia IC6A odpowiednia bramka (w zależności od stanu na *CEWKA*) IC9A/B przepuści sygnał i go zaneguje, na wyjściu wysyłając krótki impuls jedynkowy, włączając tym samym wybraną przez nas cewkę.

Generatory na IC6B/C oraz IC6D/E tworzą dwie identyczne pary, odpowiadając za dwa próbkowania. Pierwsza para musi odczekać jakiś czas po wystąpieniu pobudzenia na linii *TAKT* (aby cewka już była wyłączona i napięcie na niej zaczęło odpowiednio opadać) – za to odpowiada pierwszy generator (IC6B lub D) – po ustaniu impulsu na jego wyjściu trzeba zacząć próbkować, a kiedy drugi odliczy swój czas, musimy przestać.

Stanem aktywnym dla próbkowania jest niski, więc normalnie na wyjściu panuje 1. W moim układzie czasy trwania poszczególnych sygnałów są następujące: COIL [44μs], przerwa [40μs], SX [54 μs], przerwa [70μs], SY [66μs]. Są to wartości zmierzone, z każdym będą się nieco różniły (przez rozrzut wartości elementów), ale nie będzie mieć to dużego znaczenia – kluczowe ma przecież sama cewka. Na oscylogramach z rysunków 2a i 3 zaznaczyłem omawiane momenty, w których sygnał jest próbkowany. Wartości elementów RC w obwodach generatorów dobrałem eksperymentalnie, z użyciem oscyloskopu i posiadanej już cewki, ale o tym w swoim czasie.

Schemat drugiej części wykrywacza pokazany jest na **rysunku 5**. 12-woltowy pakiet baterii podłączamy do JP7. Zastosowanie trzech „elektrolitów” 470μF daje



mniejszą impedancję szeregową. Duża liczba kondensatorów 100nF została rozmieszczona w „strategicznych” miejscach, czyli m.in. przy nóżkach zasilających układów scalonych.

Złącze sygnałów sterujących (JP2 na rysunku 4) zostało podzielone na dwie części. Do JP10 podłączamy sygnały sterujące zasilaniem cewek, a do JP2 pozostałe (próbkowanie i wybrana cewka). Każda cewka ma swój własny, identyczny układ zasilania oraz wzmacniania napięcia. Omówię jego działanie na podstawie górnego: cewkę podłączamy do JP1. Za jej zasilanie odpowiadają tranzystory Q1 i Q2. Stan wysoki wprowadza ten pierwszy w stan nasycenia, przez rezystory płynię prąd, przez co pojawia się na nich spadek napięcia, który powoduje otwarcie się tranzystora Q2 i przez cewkę, zasilaną z 12V, zaczyna płynąć prąd. Rezystor R5 wygasa drgania napięcia na cewce (rezonans z wszechobecnymi pojemnościami) po wyłączeniu prądu. Dalej potrzebny jest wzmacniacz, ale kiedy gwałtownie zmieniamy natężenie prądu, skoki napięcia potrafią momentami przekroczyć 200V, czego nie możemy podać na wejście wzmacniacza. Dlatego za rezystorem R6 umieszczone zostały dwie diody ograniczające. Te przepięcia nie noszą żadnych interesujących informacji o metalach, dlatego w ogóle nie zwracamy na nie uwagi. Tak skompresowany sygnał jest wzmacniany tysiąc razy przez wzmacniacz odwracający (R8/R6). Rezystor R7 służy do kompensacji spadku napięcia na R6

i R8 wywołanego prądem polaryzacji wejść. Ponieważ pracujemy z małymi sygnałami, dużymi wzmocnieniami i wysoką czułością całego urządzenia, zdecydowałem się tutaj na układ NE5534 (popularniejsza podwójna wersja NE5532 nie ma nóżek do korekcji napięcia niezrównoważenia). Układ *offset null* wykonałem zgodnie z zaleceniami producenta. Na wyjściu wzmacniacza zarejestrowałem oscylogramy z rysunków 1–3.

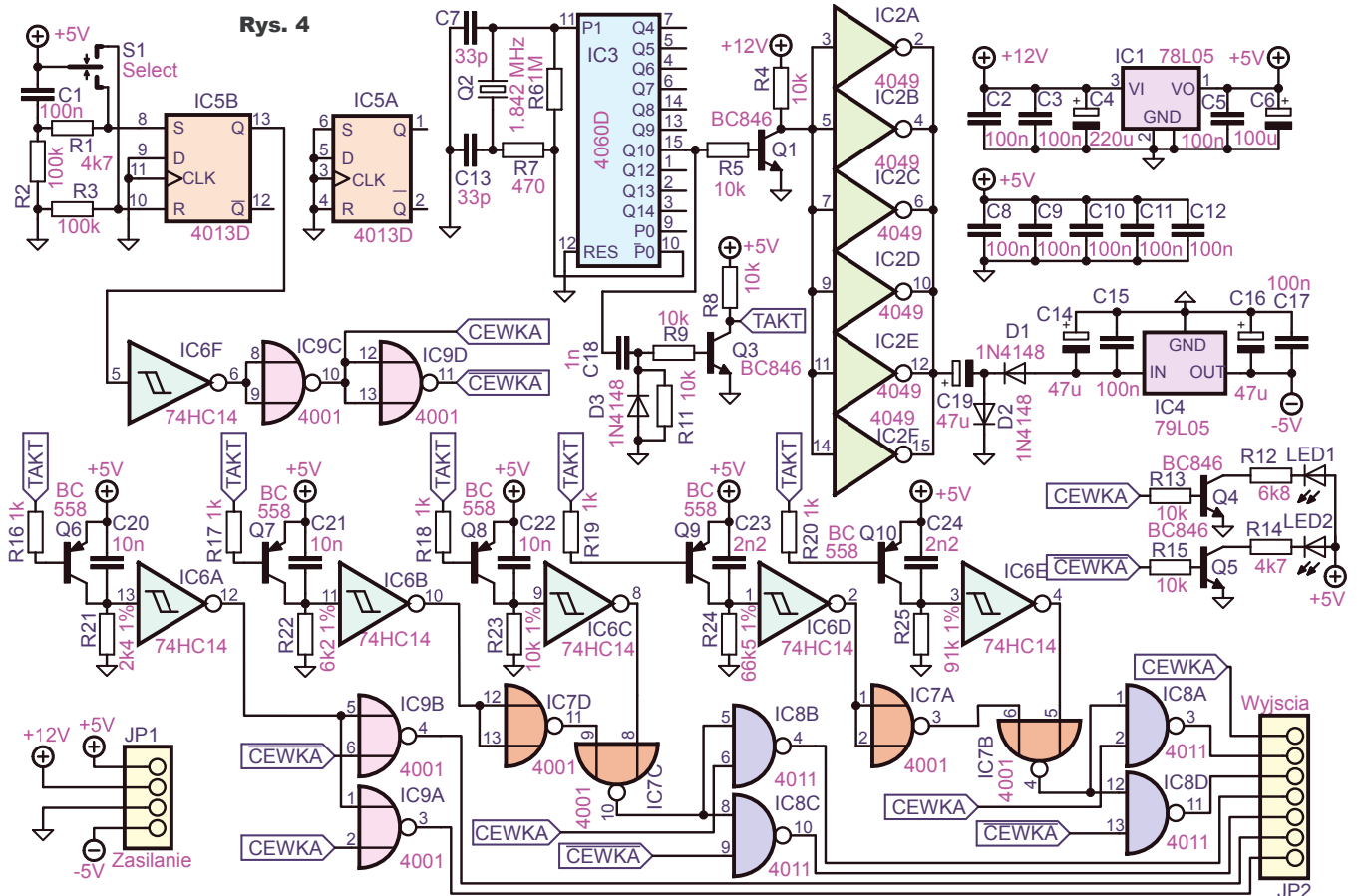
Próbkowaniem zajmują się elektroniczne klucze analogowe w układzie 4066. Dalsza część układu jest wspólna dla obu cewek. Musimy próbować nie tylko sygnały dodatnie, ale też o ujemnym napięciu. Dlatego musiałem zasilic 4066 napięciem symetrycznym i zastosować translator na tranzystorach Q3–Q6. To też wyjaśnia, dlaczego stanem aktywnym przy sterowaniu próbkowaniem jest zero logiczne. Pierwsze próbkowanie oznaczyłem SX, a drugie SY (numer oznacza cewkę). Ktoś zapyta, dlaczego nie próbowałem sygnału prosto z R6/R24, a wzmacniacz z NE5534 byłby wtedy wspólny – otóż przy wzmocnieniu 1000x ujawniają się zniekształcenia, szpilki i inne śmieci w sygnale, wprowadzone przez 4066. Przy przełączaniu już wzmocnionych sygnałów ich zniekształcenia są nieznaczące dla dalszej części analogowej. NE5534 kosztuje 1,50zł i pobiera 5mA, więc to niewielka cena za obejście problemu.

W związku z podwójnym próbkowaniem, za 4066 znajduje się integrator różnicowy. Wystarczające parametry ma TL072. Do wejścia odwracającego trafia sygnał

z pierwszego próbkowania, który jest całkowany i wzmacniany. To na podstawie tego sygnału możemy stwierdzić, czy w pobliżu cewki jest jakiś metalowy przedmiot. Do wejścia nieodwracającego trafia sygnał z drugiego próbkowania. Jak widać na rysunku 2, ten sygnał jest bliski 0V (ale nie równy!). Kondensator C1 „trzyma” na tej nóżce w miarę stałe napięcie, zatem stworzony został swego rodzaju obwód sztywnej masy, który sam dostosowuje napięcie w zależności od sygnału.

Spędziłem trochę czasu, eksperymentując z wartościami elementów w obwodzie integratora – zwłaszcza stałych czasowych par R32, C2 oraz R31, C1. Zbyt duże wartości powodują, że gdy zbliżymy do wykrywacza metal na bardzo bliską odległość, kondensatory naładują się do dużego napięcia i po odsunięciu metalu będą się bardzo powoli rozładowywać (przez megaomowe rezystory), a wykrywacz przez cały ten czas (nawet kilku sekund!) będzie sygnalizował obecność metalu, przez co drastycznie straci na walorach praktycznych. Z kolei wybranie zbyt małej stałej czasowej spowoduje bardzo słabą (lub żadną) stabilność wykrywacza, który zacznie się wzbudzać i „wariować”. Dobrane przeze mnie wartości zapewniają optymalną pracę: możemy szybko wymachiwać przed sondą metalowym przedmiotem, a wykrywacz będzie szybko reagować przerywanymi sygnałami.

Napięcie na wyjściu IC4A powoli obniża się przy zbliżaniu metali do cewki. Zastosowany został kolejny wzmacniacz

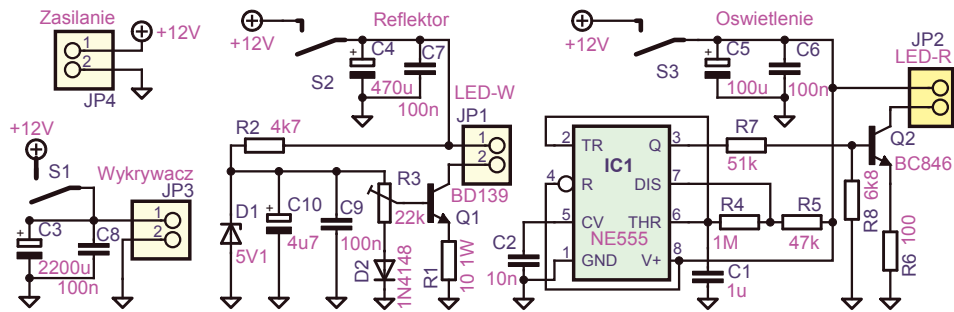


Projekty AVT

odwracający o dużym wzmocnieniu i regulowanym poziomie odniesienia (sztuczna masa), zrealizowany na IC4B. Wzmocnienie tego układu wynosi 100 V/V, a kondensator C3 powoduje, że ta wartość maleje dla sygnałów o wyższych częstotliwościach. Wzmacniacz ten ma celowo bardzo wąską charakterystykę przejściową, która zapewni gwałtowną reakcję po przekroczeniu zadanego progu napięcia na wyjściu IC4A. Środek tej charakterystyki ustala napięcie na wejściu nieodwracającym.

Dobranie tego napięcia to nic innego jak strojenie wykrywacza. Wartość tego napięcia przede wszystkim zależy od cewki, zaśmiecenia terenu, stanu baterii i kilku innych czynników. Wartość tę ustawia się ręcznie (potencjometrem) w taki sposób, aby znaleźć się przy samej granicy przebiegu na omawianej charakterystyce przejściowej wzmacniacza na IC4B. Wtedy wykrywacz jest najbardziej czuły. Oczywiście nastawy tego napięcia będą indywidualne dla każdej cewki – dlatego postanowiłem użyć dwóch niezależnych potencjometrów, podłączanych do JP4/JP5. W zależności od wybranej cewki, do wejścia nieodwracającego IC4B dostarczane będzie napięcie z odpowiedniego potencjometru za pośrednictwem analogowego (de)multiplexera 4052, którym steruje sygnał CEWKA, znany z pierwszej płytki. Wartości rezystorów R34–R37 zostały dobrane doświadczalnie

Rys. 5 (z potencjometrami 10kΩ) pod



Rys. 6 moje cewki. Za IC5 zastosowałem również obwód R42, C27 pełniący funkcję filtra dolnoprzepustowego, poprawiającego stabilność napięcia.

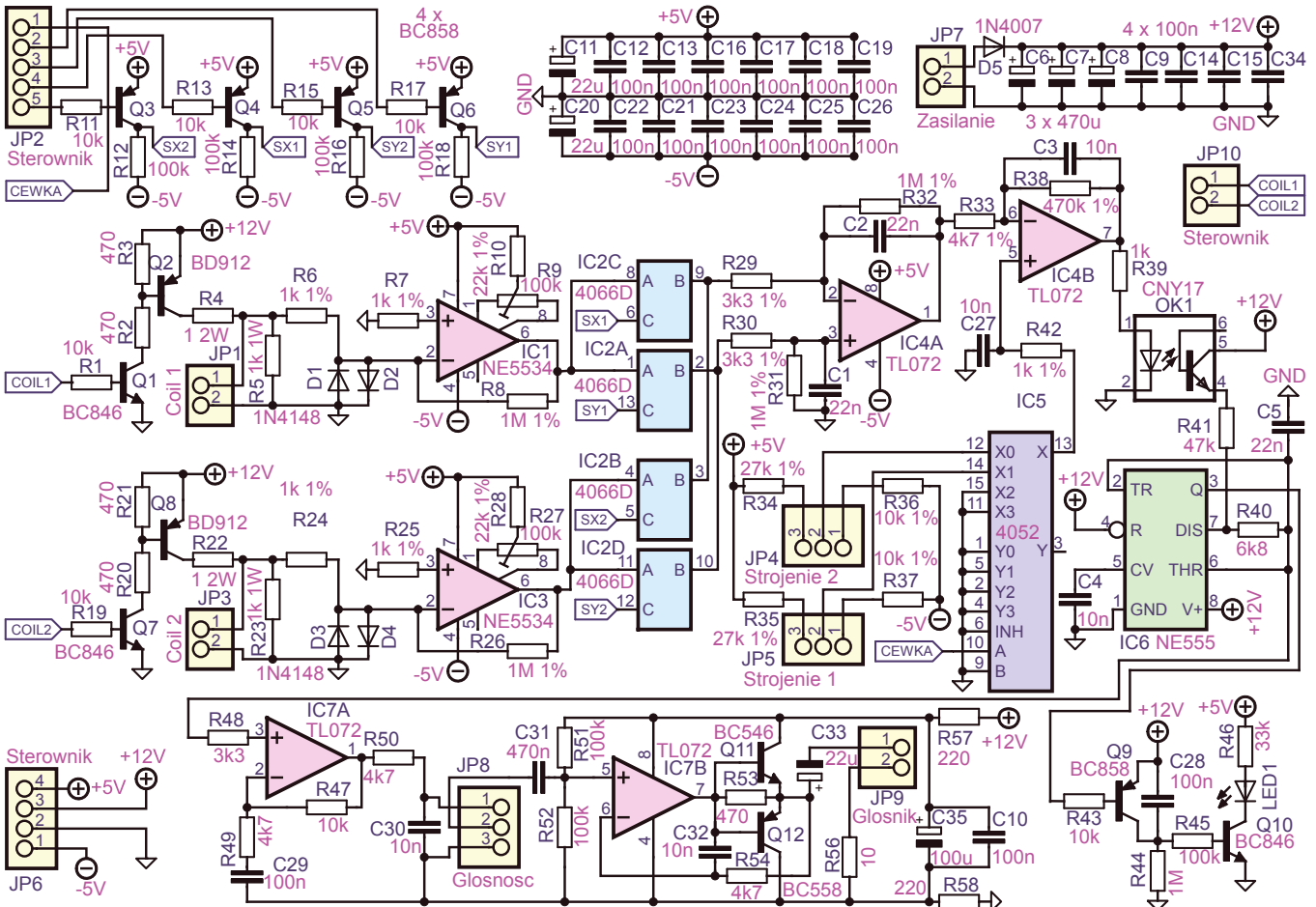
Przy optymalnym zestrojeniu wykrywacza potencjometrem, napięcie na wyjściu IC4B gwałtownie skoczy do góry przy zbliżeniu jakiegoś metalu do cewki i włączy sygnalizację. Obwód sygnalizujący obecność metalu został zrealizowany na NE555 wyzwalanym transporem. Generuje on sygnał o częstotliwości ok. 1kHz i wypełnieniu bliskim 90%. W praktycznie każdym amatorskim wykrywaczu impulsowym do wyjścia zero-jedynkowego Q (nóżka 3) NE555 podłączano głośnik przez tranzystor PNP, a sam timer skonfigurowano tak, by miał bardzo duże wypełnienie. Dźwięk miał typowe dla prostokąta „mrucząco-drażniące” brzmienie, którego osobście nie lubię, co też zmotywowało mnie do załatwienia sprawy inaczej.

Jako źródło tonu do sygnalizacji zdecydowałem się wybrać przebieg podobny do trójkątnego, występujący na kondensatorze C5 (nóżka 2 i 6). Zostaje on wzmocniony przez IC7A o dużej impedancji wejściowej i wzmocnieniu 2 V/V. Sygnał ten trafia na filtr

dolnoprzepustowy R50, C30, a potem na potencjometr regulacji głośności (wartość 50kΩ), podłączany do złącza JP8. IC7B wraz z wtórnikiem Q11, Q12ysterowują obciążenie – głośnik/słuchawki. Brzmienie tonu sygnalizacyjnego dobrałem doświadczalnie i każdy może dowolnie z nim eksperymentować.

Zauważmy, że obwód sterujący głośnikiem jest zasilany przez rezystory R57 i R58, a nie bezpośrednio podłączony do głównych szyn zasilania. Zapobiega to „sianiu zakłóceń”, wpływających na cały układ, w praktyce obniżających czułość i stabilność strojenia wykrywacza w momencie wystąpienia sygnalizacji z dużym poziomem głośności.

Wykorzystana została również nóżka 3 NE555, gdzie normalnie (brak sygnalizacji) panuje logiczna 1. Dobudowałem tam prosty układ sterujący diodą LED. Tranzystory Q9 i Q10 tworzą prosty „przedłużacz” impulsów, reagujący na stan niski na wyjściu NE555, by dioda świeciła pewnie i bez przerw zwłaszcza w momencie, kiedy wykrywacz jest na granicy reakcji i pojawiają się przypadkowe, nieregularne impulsy na wyjściu. Dzięki temu jasność jest stała



i wyraźna. Jeśli chcemy, możemy zwiększyć pojemność kondensatora C28 nawet do 470nF, wtedy uzyskamy również ciekawy efekt płynnego zanikania światła (przez ok. 1 sekundę) po odsunięciu metalu.

Zastosowałem duży rezystor ograniczający prąd zielonej, przezroczystej LED1 (33kΩ), dzięki czemu nadaje się do pracy i w dzień, i w ciemności.

W obwodach przetwarzających sygnał z cewek zastosowałem praktycznie tylko metalizowane rezystory precyzyjne i kondensatory foliowe. Są to elementy o wyższej jakości i lepszych parametrach przy niewiele większej cenie. W pewnych miejscach ich obecność może wydać się przesadna, ale postanowiłem złożyć sobie „wykrywkę” z porządnymi częściami, a to może tylko zwiększyć stabilność pracy urządzenia.

Ostatnia, trzecia płytką znajduje się w puszcze z bateriami i wyposaża wykrywacz w funkcje oświetleniowe. Jej prosty schemat pokazany jest na **rysunku 6**. Bardziej interesujący jest obwód zasilania reflektora oświetlającego: niezadowolony z superjasnych superfluksów, postanowiłem zbudować szperacz z trzech szeregowo połączonych półwatowych diod mocy, których napięcie przewodzenia wynosi ok. 3,5V przy prądzie 150 mA. Zasilające je źródło prądowe zostało zrealizowane na tranzystorze Q1 z rezystorem emiterowym, diodą Zenera i potencjometrem montażowym. Trzeci obwód to sterownik migających diod czerwonych, pełniących funkcję sygnalizacyjną (zawsze może się przydać). Są to 3 zwykłe diody małej mocy o wysokiej jasności (przezroczysta bańka), umieszczone po bokach i na dolnej ścianie puszkii baterii. NE555 jest

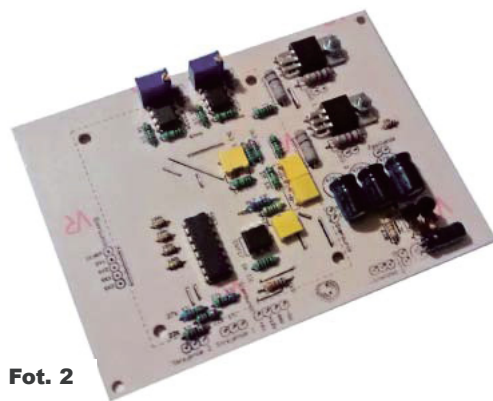
tutaj zwykłym generatorem 0,7Hz i o wypełnieniu prawie 50%. Postanowiłem zasilać diody prądowo (ok. 8mA). Dzięki temu możemy podłączyć szeregowo do 3 sztuk, nie zmieniając nic w układzie.

Montaż i uruchomienie

Budowa porządnego i solidnego wykrywacza to sporo pracy, a finalna jakość sprzętu zależy od tego, jak bardzo się do tego przyłożymy. Zasadniczą część wykrywacza metali stanowią dwie płytki drukowane, trzecia natomiast jest opcjonalna. Pierwszą płytkę (wg rysunku 4) pokazuje **rysunek 7**. Montaż jest typowy. Zaczynamy od wlotowania wszystkich elementów SMD. Najlepiej zacząć od układów scalonych, które zdecydowanie najwygodniej lutuje się grottem typu minifala. Kondensatory elektrolityczne i rezonator kwarcowy konieczne montujemy na leżąco ze względu na ich wysokość. Z uwagi na wysokość, rezygnujemy z podstawek pod układy scalone. Nie wstawiamy żadnych złączy w miejscu JP1 i JP2, ponieważ połączenia wykonamy przewodami. Podobnie z przyciskami do wyboru cewki. Pomocna może być **fotografia 1**, która prezentuje moją płytkę.

Teraz możemy przetestować ten moduł. Sprawdzamy, czy są napięcia +5V i -5V. Sprawdzamy, czy zmienia się stan logiczny na padzie CEWKA na JP2. Dobrze byłoby zbadać oscyloskopem cyfrowe sygnały sterujące na pozostałych pinach JP2, czy wyglądają tak, jak czerwone przebiegi na rysunkach 1-3, z uwzględnieniem przełączania cewek.

Schemat montażowy drugiej płytki pokazuje **rysunek 8**. Została ona tak zaprojektowana, aby przymocować do niej płytkę sterującą i w wygodny sposób poprowadzić przewody. Montaż przewlekalców znów zaczynamy od zworek, potem rezystorów, na razie bez dużych 1-omowych R4 i R22 (będzie łatwiej zestroić wzmacniacze). Potem montujemy poziomo kondensatory MKT mające znajdować się pod płytką sterującą. Następnie bierzemy się do potencjometrów wielobrotowych do kompensacji napięcia nierównoważenia wzmacniacza i kondensatory elektrolityczne: C6-C8



Fot. 2

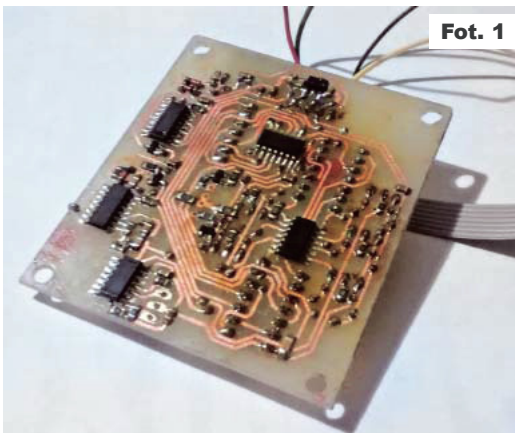
(470 μF) lutujemy pionowo, natomiast C33 i C35 musimy na leżąco z uwagi na głośnik. Poziomo lutujemy tranzystory mocy do zasilania cewek, wcześniej przykręcając je krótkimi śrubami M3. Na **fotografii 2** zaprezentowałem pierwszą wersję mojej płytki, która później przeszła kilka drobnych zmian.

Teraz obie płytki należy ze sobą połączyć. Na początek polecam użycie dłuższych przewodów, aby łatwiej było testować i wprowadzać ewentualne poprawki. Do łączenia sygnałów sterujących najlepiej użyć kawałka białej taśmy komputerowej, przy czym dwa przewody od włączania zasilania cewek (COILx) muszą zostać oddzielone i poprowadzone do gniazda JP10 po drugiej stronie płytki.

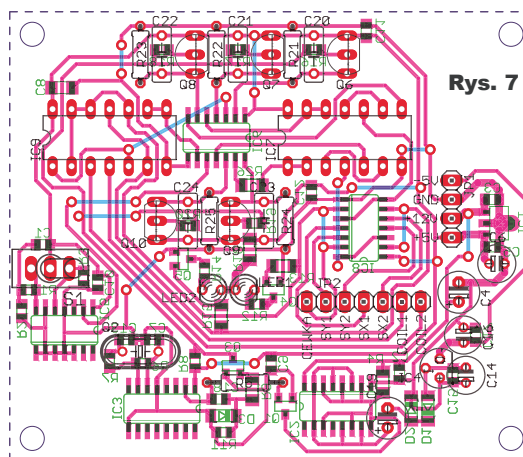
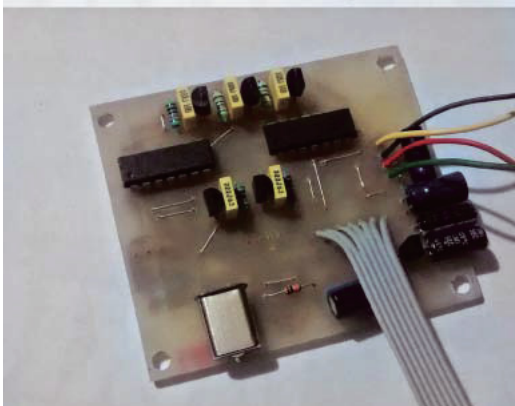
Ustawiamy ograniczenie prądu 200mA i włączamy zasilacz, podłączamy go do JP7. Jeszcze raz sprawdzamy, czy napięcia ±5V są prawidłowe; ich zanikanie może oznaczać zwarcie/przebieżenie. Teraz trzeba zestroić wzmacniacze NE5534 (kalibracja napięcia nierównoważenia) za pomocą potencjometrów R9 i R27, ustawiając dokładnie 0V na wyjściu każdego z nich. Teraz możemy przylutować brakujące 1-omowe rezystory dużej mocy R4 i R22.

Warto wstępnie przetestować cały układ z jakąś testową cewką (u mnie było to 20 zwojów na średnicy 25cm drutem Ø0,65mm), podłączyć przewodami potencjometry strojenia (10kΩ) do JP4 i JP5, potencjometr regulacji głośności (50kΩ) do JP8, diodę LED1 sygnalizującą obecność metalu i głośnik do JP9. Cewki podłączamy do JP1 i JP3, sprawdzamy oczywiście oba wejścia. Zawieszamy cewkę gdzieś z dala od metali, włączamy zasilanie i ustawiamy potencjometr regulacji w takim położeniu, aby układ był tuż przed wzbudzeniem sygnalizacji, co zapewnia jego największą czułość. Sprawdzamy prawidłowość reakcji na obecność metali.

Gdy wszystko działa, trzeba wsadzić elektronikę do płaskiej obudowy Z-19. Jako wzór mogę wskazać wnętrze mojej obudowy, widoczne na **fotografii 3**.



Fot. 1



Rys. 7

Najtrudniejszy do wykonania jest przedni panel, na którym umieszczone zostaną potencjometry strojenia, diody LED i gniazdo słuchawkowe. Najpierw zamocujemy potencjometry strojenia, zaczynamy od zagięcia im nóżek pod kątem prostym, aby zaoszczędzić przestrzeń. Ustawiamy je obok siebie maksymalnie ciasno, pierwszy z nich ustawiamy przy samym kołku (wsporniku) obudowy. Musimy dobrze wymierzyć wysokość, aby były dokładnie w połowie panelu, ponieważ gałki mogłyby zahaczać o dolną lub górną pokrywę, a średnica tych gałek dobrana jest niemalże na styk. Teraz mocujemy oprawki na diody LED – musimy je niestety umieścić jedna obok drugiej, ponieważ panel jest niski, znowu maksymalnie ciasno. Jako sygnalizację wybranej cewki trzeba zastosować LED wielokolorową (polecam wykorzystanie barw czerwonej i niebieskiej z RGB), a jako sygnalizację znalezienia metalu wybrać diodę zieloną o podwyższonej jasności. Obie z przezroczystą bańką, którą koniecznie musimy zmatowić, aby nie świeciły snopem światła po twarzy, najlepiej drobnoziałnym papierem ściernym o gradacji ok. 2000.

Jako ostatni element montujemy gniazdo słuchawkowe typu jack stereo 3,5mm, zostawiając miejsca na śrubę M3, która będzie skręcać później całą obudowę. Musimy zostawić odrobinę luzu, ponieważ takie gniazdo nietrudno jest wylać. Na potencjometry nakładamy gałki – koniecznie w kolorach odpowiadających barwie diody dla danej cewki. Teraz tylny panel – tam musimy zmieścić gniazdo zasilania (popularne niskonapięciowe gniazdo zasilania DC-Jack 5.5/2.1mm) oraz te do podłączenia cewek – polecam cinche (RCA). Warto dorzucić te kilkadziesiąt groszy i kupić lepsze złocone.

Teraz górna pokrywa obudowy. Tam trzeba zmieścić regulator głośności oraz głośnik. Potencjometr mocujemy nad tranzystorami mocy, a na jego gałkę mogą od razu polecieć jakiś duży i masywny model – ciekawie prezentuje się czarny plastik z metalowym dyskiem na górze. Głośnik natomiast musi się zmieścić przy rogu, nad gniazdem zasilającym, nie nachodząc jednocześnie na stojące kondensatory elektrolityczne 470µF (C6–C8). Bardzo dobrze spisuje się płaski głośnik miniaturowy z membraną z tworzywa sztucznego, o średnicy 3cm, impedancji 16Ω i mocy 0,25W. Oczywiście musimy wywiercić otwory przed głośnikiem. W moim modelu wykonałem sieć otworów o średnicy 1,5mm. Zanim przykleimy głośnik, wskazane jest zmatowić okolice jego mocowania (papier ścierny, gradacja 100–360) – widać to na zdjęciu. Ja przykleiłem przetwornik klejem



Fot. 3

z pistoletu na gorąco i ułożyłem go palcem, zanim zastygł.

Zostaje jeszcze dolna część obudowy. Radzę zacząć od przytwierdzenia płytki czterema śrubami – tymi samymi, które połączą płytki ze sobą. Posłużyły mi do tego śruby M3 o długości 25mm, a między płytki zastosowałem dystansowe tulejki z poliamidu o długości 5mm. Kiedy wymierzymy i wszystko się mieści, wiercimy otwory i przykręcamy tymczasowo elektronikę. Wreszcie przyciski do wyboru cewki. Doszedłem do wniosku, że jedynym sensownym wyjściem w tej ciasnocie będzie umieszczenie dwóch microswitchy na lewej ścianie – widać je na fotografii. Dwa przyciski o ośkach długości 6mm przylutowałem na wspólnym kawałku laminatu z wydrapanymi przerwaniami w miedzi, wywierciłem dwa otwory w obudowie. Laminat z przyciskami po umieszczeniu swobodnie latał – jako „blokadę” zastosowałem kawałek dość twardej gąbki.

Kiedy wszystko spasujemy, możemy przejść do okablowania wnętrza i połączenia wszystkich przymocowanych interfejsów z płytką. Do zasilania i cewek wybieramy krótkie przewody o sporym przekroju, do pozostałych wystarczą cienkie, powszechnie dostępne.

Wykorzystajmy piny w gniazdku słuchawkowym, które odłączą głośnik po włożeniu wtyczki. Obie słuchawki mają być połączone szeregowo, więc środkowy pin (masę) w słuchawkach zostawiamy wiszącą w powietrzu, a sygnał puszczaemy od lewej do prawej słuchawki.

Ponieważ trzeba znacznie stłumić silny sygnał dźwiękowy, sze-



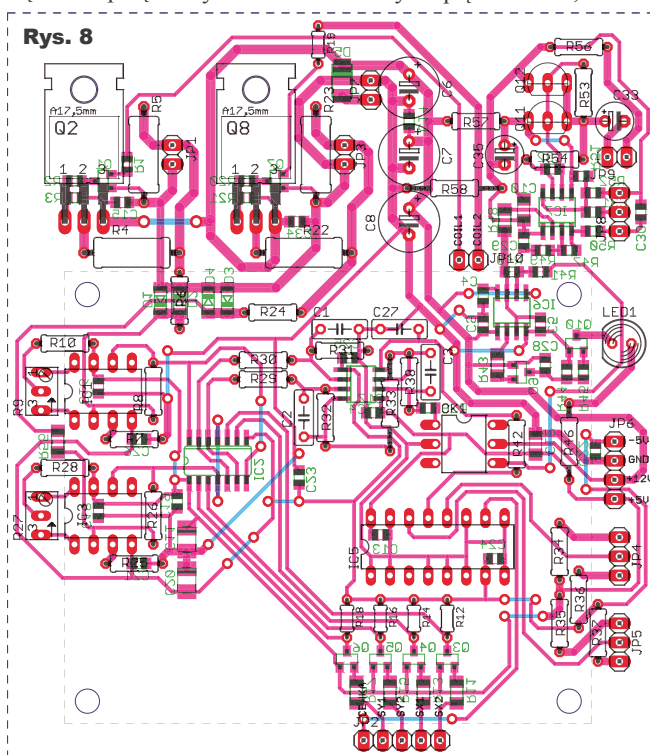
Fot. 4

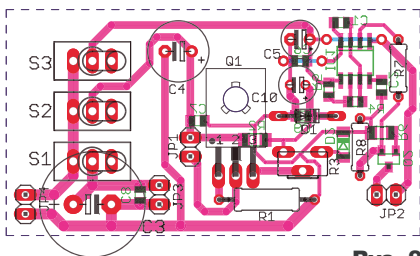
regowy rezystor dla słuchawek musi mieć wartość minimum 2,2kΩ dla słuchawek 32Ω. Trzeba to dobrać eksperymentalnie.

Po wykonaniu tych czynności przychodzi czas na zamknięcie obudowy. Z-19 nie ma gwintu ani wkrętów w zestawie. Jednak przy dwóch przeciwległych bokach są kołki, a przy pozostałych dwóch nie ma nic, są natomiast tuleje, które idealnie wycentrują wiertło Ø3mm. Tylko zwróćcie uwagę, które tuleje należy przewiercić, mając dwie rozłożone połowki, można przez pomyłkę ruszyć te niewłaściwe! Teraz możemy zamknąć obudowę z elektroniką i skręcić ją dwiema śrubami M3 o długości 30mm. Na spód dobrze jest zastosować nakrętkę kołpakową (z zaślepką) ze względów estetycznych. Na fotografii 4 można zobaczyć efekt powyższych działań w moim wykonaniu.

Zbudowanie elektroniki wykrywacza metali to jeszcze nie koniec prac. Teraz kolej na przygotowanie pudełka zasilającego. Często baterie lub akumulator są umieszczone osobno, poza elektroniką, aby dobrać położenie środka ciężkości w optymalnym miejscu (np. Rutus Proxima). Są też wykrywacze mające wszystko w jednym pudełku (np. polski Armand Prospector). Opisujemy detektor zasilamy napięciem 12V, do

Rys. 8





Rys. 9

czego potrzebnych jest 8 baterii alkalicznych AA (lub akumulator 12V). Ja nabyłem dwustronny koszyk ze złączem stosowanym w 9-woltówkach. Znalazłem też w Castoramie kauczukową puszkę elektroinstalacyjną o kwadratowej podstawie 95x95mm i kopułkowatym dekle, po zamknięciu całość ma w najwyższym punkcie 4cm. Z dużym zapasem przestrzeni pomieściła ona komplet baterii. Umieściłem tam też trzecią płytkę odpowiadającą za oświetlenie. Schemat montażowy tego kawałka elektroniki można zobaczyć na **rysunku 9**. Elektrolit C3 i tranzystor montujemy poziomo. Na **fotografii 5** pokazana jest moja płytkę. W miejsce przełączników lutujemy przewody, które będą biec pod leżącym na nich C3. Zasilanie do wykrywacza wyprowadzamy z JP3, szeregowo podłączone czerwone diody podłączamy do JP2, a do JP1 – reflektor (trzy półwatowe białe diody szeregowo). Prąd źródła regulujemy potencjometrem R3, ja ustawiłem 100mA – światło jest już bardzo jasne, a pobór prądu jeszcze do przyjęcia.

Teraz trzeba przygotować puszkę. Zaczniemy od zamocowania koszyka na baterie. Koszyk ustawiłem przy jednej ze ścianek puszek (złącze do podpięcia kabla jest po przeciwnej stronie). Do umocowania go w miejscu użyłem dwóch kawałków grubego drutu miedzianego w izolacji (przewód elektroinstalacyjny), a do dna obudowy przykręciłem go czterema śrubami M3. Ułożyłem na planie prostokąta o bokach 7x2,5cm, których odstające z drugiej strony gwinty posłużyły mi później do przykręcenia całej puszek do stelaża. Jeden drut przytrzymuje koszyk przy ścianie, a drugi dociska go od góry, jednocześnie zabezpieczając baterie przed opuszczeniem swojego miejsca.

Teraz pora przykręcić przełączniki, które mocujemy tam, gdzie producent puszek przewidział wybite otwory na wyprowadzenie kabla sieciowego. Do włączania wykrywacza zastosowałem duży prze-

łącznik dźwigniowy z nakręcaną na gwint gumową nakładką. Do włączania migającego oświetlenia użyłem mniejszego, ale do niego już nie ma takich nakładek. Umieściłem je po przeciwnych ściankach bocznych. Przełącznik włączania reflektora najlepiej jest umieścić na nim samym. Musimy jeszcze zamontować migające czerwone diody oświetlające. Ja umieściłem po jednej na ścianie bocznej obok przełączników, a trzecią na dolnej.



Możemy wyprowadzić przewód zasilania wykrywacza (nie dłuższy niż 15cm) i koniecznie zakończyć go odpinanym wtykiem DC-Jack, aby można było łatwo konstrukcję rozmontować. Na **fotografii 6** zebrałem dwa ujęcia swojej puszek.

Za miesiąc, w drugiej części artykułu, omówiona zostanie konstrukcja mechaniczna wykrywacza oraz efekty pracy w terenie.

Michał Pędzimaż
mpedzimaz@gmail.com

Płytkę drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3118.

Wykaz elementów

Płytkę 1

R1,R14	4,7kΩ SMD 0805
R2,R3	100kΩ SMD 0805
R4,R9,R13,R15	10kΩ SMD 1206
R5	10kΩ 1/8W
R6	1MΩ SMD 0805
R7	470Ω SMD 0805
R8,R11	10kΩ 0805
R10,R26	zwora 0Ω SMD
R12	6,8kΩ SMD 1206
R16-R20	1kΩ SMD 0805
R21	2,4kΩ 1%

Płytkę 2

R1,R47	10kΩ SMD 0805
R2,R3,R20,R21	470Ω SMD 0805
R4,R22	1Ω 2W
R5,R23	1kΩ 1W
R6,R7,R24,R25,R42	1kΩ 1%
R8,R26,R31,R32	1MΩ 1%
R9,R27	helitrim 100kΩ pion.
R10,R28	22kΩ 1%
R11,R13,R15,R17,R43	10k SMD1206
R12,R14,R16,R18	100kΩ 1/8W
R19	10kΩ 1/8W
R29,R30	3,3kΩ 1%
R33	4,7kΩ 1%
R34,R35	27kΩ 1%
R36,R37	10kΩ 1%
R38	470kΩ 1%
R39	1kΩ SMD 0805
R40	6,8kΩ SMD 0805
R41	47kΩ SMD 0805
R44	1MΩ SMD 0805
R45,R51,R52	100kΩ SMD 0805
R46	33kΩ

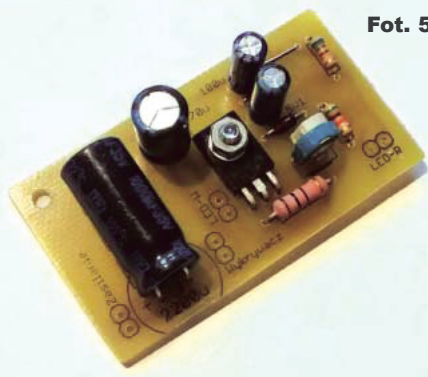
R22	6,2kΩ 1%
R23	10kΩ 1%
R24	66,5kΩ 1%
R25	91kΩ 1%
C1-C3,C5,C9-C12,C15,C17	100nF SMD 0805
C4	220μF/16V elektr.
C6	100μF/25V elektr.
C7,C13	33pF SMD 0805
C8	100nF SMD 1206
C14,C16,C19	47μF/25V elektr.
C18	1nF SMD 0805
C20-C22	10nF MKT
C23,C24	2,2nF MKT
D1-D3	1N4148 SMD
LED1/LED2	LED RGB WA
Q1,Q3-Q5	BC846
Q6-Q10	BC558
IC1	78L05 SOT89
IC2	4049 SMD
IC3	4060 SMD
IC4	79L05 TO-92
IC5	4013 SMD
IC6	74HC14 SMD
IC7,IC9	4001 przewlekany
IC8	4011 SMD
Q2	1,842 MHz niski
S1	microswitch x2 6mm (patrz tekst)

R48	3,3kΩ SMD 1206
R49,R50	4,7kΩ SMD 0805
R53	470Ω
R54	4,7kΩ
R55	zwora 0Ω SMD 1206
R56	10Ω
R57,R58	220Ω
C1,C2	22nF MKT
C3,C27	10nF MKT
C4,C30,C32	10nF SMD 0805
C5	22nF SMD 0805
C6-C8	470μF/16V elektr.
C9,C13-C19,C21-C26,C28,C29,C34	100nF SMD 0805
C10,C12	100nF SMD 1206
C11,C20	22μF/16V tant. SMD 3528
C31	470 nF SMD 0805
C33	22μF/16V elektr.
C35	100μF/16V elektr.
D1-D4	1N4148 SMD
D5	1N4007 M7
LED1	LED G, np. L-53SGCJ
OK1	transoptor CNY17

Pozostałe

JP1,JP3	gniazdo RCA
JP7	gniazdo DC-Jack 2,1/5,5 przykręcane
JP9	głośnik 0,25W/16Ω/3cm
Potencjometr 10kΩ	2 szt.
Potencjometr 50kΩ	1 szt.
Oprawka LED5mm plastik wypukła	2szt
Gn. Jack3.5 stereo przykręcane	1szt.
Obudowa Z-19	1 szt.
Gałka na potencjometr czerw.	1 szt.
Gałka na potencjometr nieb.	1 szt.
Gałka na pot. srebrna	1 szt.

Fot. 5



Fot. 6

